

doi:10.11751/ISSN.1002-1280.2018.12.12

枸杞多糖研究进展

孙甜甜¹, 高云航², 孙 卓³, 娄玉杰^{4*}, 周海柱⁵

(吉林农业大学动物科技学院, 动物生产及产品质量安全教育部重点实验室(吉林农业大学),

吉林省动物营养与饲料科学重点实验室(吉林农业大学), 长春 130118)

[收稿日期] 2018-05-10 [文献标识码] A [文章编号] 1002-1280 (2018) 12-0075-06 [中图分类号] S853.7

[摘 要] 枸杞多糖(LBP)是一种由多种酸性杂多糖和多肽或蛋白质构成的复合多糖,因具有天然的抗氧化、抗病毒等生物活性,所以在畜牧业生产中的应用前景广泛。从其化学结构、抗氧化、抗病毒、增强免疫能力等方面对枸杞多糖的功能进行综述,以期对科研和实践工作提供理论参考。

[关键词] 枸杞多糖; 化学结构; 抗氧化; 抗病毒; 增强免疫力

Research Advances of Lycium Barbarum Polysaccharides

SUN Tian-tian¹, GAO Yun-hang², SUN Zhuo³, LOU Yu-jie^{4*}, ZHOU Hai-zhu⁵

(1. College of Animal Science and Technology, Jinlin Agricultural University,

Jilin province key laboratory of animal nutrition and feed science, Changchun 130118, China)

Corresponding author: LOU Yu-jie, E-mail: lyjjlau@163.com

Abstract: Lycium barbarum polysaccharide (LBP) is a kind of complex polysaccharide composed of a variety of acidic heteropolysaccharide and polypeptide or protein. it has wide application prospect in animal husbandry because of its natural biological activities such as anti-oxidation and anti-virus. This review summarizes and prospects the functions of lyceum barbarum polysaccharides from aspects of the chemical structure, anti-oxidation, antiviral and enhanced immunity and concentrates on providing theoretical reference for scientific research and production practices in the future.

Key words: lycium barbarum polysaccharide ;the chemical structure ;antioxidant ;anti-viral ;immune function

枸杞是一种名贵的中药材,普遍生长于中国西北部地区,其果实具有免疫调节、抗衰老、抗肿瘤、降血糖、降血脂、保护生殖功能的功效^[1]。枸杞多糖(LBP)是枸杞子的主要提取物,主要成分有鼠李

糖、甘露糖、葡萄糖及半乳糖等多种糖类,是一种糖-蛋白聚合物^[2]。LBP 具有抗氧化、抗病毒、调节免疫功力等多种生物活性与其结构、构象等密切相关。近年来人类医学研究在枸杞多糖生物活性方

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-38)

作者简介: 孙甜甜, 硕士研究生, 从事动物饲料资源开发与利用方向研究。

通讯作者: 娄玉杰, E-mail: lyjjlau@163.com

面已取得一定成果,这将为动物健康养殖相关的研究提供一定理论基础。以 LBP 化学结构、抗氧化、抗病毒、增强免疫力几个方面的医学研究结果为主,并结合其在畜牧业研究中取得的研究进展,综述 LBP 抗氧化、抗病毒、增强免疫的作用,展望 LBP 作为抗氧化剂、抗病毒药物和免疫增强剂在畜禽养殖生产的应用前景,期望对畜牧科研工作及畜禽健康养殖提供参考。

1 化学结构

多糖是机体主要成分之一,几乎参与整个生命过程。多糖具有比大分子蛋白质和核酸更为复杂的结构,同时也承载着大量的生物信息,所以多糖的结构与生理功能息息相关。众多研究发现,LBP 的多种生物功能与其复杂的结构和构象密切相关^[2-5],这将有效提高人们对 LBP 的认识、促进高效 LBP 多糖类药物的开发与利用。吴津昊^[3]研究发现能通过硒化手段提高枸杞多糖生物活性,枸杞硒多糖不同硒取代程度直接影响了其抗肿瘤生物活性,并且能通过优化硒化条件增加芦丁和杨梅素的含量。多糖的高级结构和低级结构都能影响其生物活性,取代基和其空间结构的改变对其生物活性都有影响,但在构象及效果中高级结构比低级结构具有更重要的意义。有研究表明,硫酸化 LBP 的抗病毒生物活性强于普通 LBP^[4],而硫酸酯化的杂多糖抗病毒活性又小于均多糖,主要成分为 β -1,3-D-葡聚糖的多糖活性大于 β -1,6-D-葡聚糖^[5]。同时朱彩平^[6]发现,LBP 表面呈碎片状凝聚态,不具有三股螺旋结构,存在较长的侧链和较多的分支,并且多糖链含有相同的糖分子结构。多糖都具有相同或相似的低级结构,但是其生物活性及其效果却相差甚远,这主要是由于其高级结构的不同造成的。化学结构和其构象都会影响多糖的分子量和空间结构,多糖结构分为一级结构(低级)和二、三、四级结构(高级),高级结构的不同在生物构效中意义重大,直接影响其空间结构的变化。不同提取方法和原料都会影响其提取的成分和组成,在多糖研究生产中如果能探明构效关系、优化提取工艺、规范分析手段,将为 LBP 在畜牧业的广泛使用

提供有利条件,打破市场使用效果不一的局面。

表 1 枸杞多糖成分及检测方法

Tab 1 LBP of composition and detection method		
枸杞多糖多糖组成	检测方法	来源
阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、李鼠糖、木糖、甘露糖	色谱法	刘源才、苟春林
岩藻糖、李鼠糖、阿拉伯糖、氨基葡萄糖、半乳糖、葡萄糖、木糖、甘露糖、果糖、核糖	脉冲安培检测法	李静
阿拉伯糖、氨基半乳糖、半乳糖和葡萄糖	荧光基团标记	陈忱

2 增强机体抗氧化性能

在集约化养殖中,肉鸡由于基因、营养及环境等因素常常引发组织和细胞的氧化损伤,给肉鸡养殖业造成了巨大的损失。畜牧业生产通常是利用饲料中的抗氧化剂来减少内外界因素引起的畜禽氧化损伤情况。有研究者^[7]通过体外试验测定硒化 LBP 的抗氧化能力,结果发现硒化 LBP 对氧化自由基的清除率可高达 50% 以上,这远远高于其他抗氧化剂的抗氧化能力。

同样其抗氧化能力在体内试验也得到了验证,LBP 可通过与不同抗氧化剂的配伍及化学结构(硒化、硫酸化、硫酸酯化)的改变达到增强体内抗氧化能力的作用。X M Li^[8]等分别灌喂 500 mg/Kg 的 LBP、VC 及 LBP+VC,结果发现 LBP 对老年动物的氧化应激具有减缓的作用,并且添加 VC 能够增强 LBP 单独使用时的抗氧化能力。Shulei Qiu^[9]等也证实,LBP 通过硒化改变其化学结构,提高了清除自由基和增强机体抗氧化活性的能力。氧化应激反应是通过降低抗氧化酶的活性和 mRNA 的表达水平,使机体抗氧化系统失衡,此时机体氧化自由基的产生大于自身清除自由基的能力时,就会造成氧化损伤。通过对枸杞多糖结构的修饰,能有效提高其生物活性。同时有研究发现,LBP 能够抑制辐射造成的肝脏线粒体氧化应激损伤^[10]。LBP 减缓和抑制氧化应激反应可能是通过调节机体脂质代谢,减缓内源性脂质过氧化带来的组织器官的氧化

损伤。当不良因素引起细胞及器官损伤时,LBP 除了能够减缓和抑制氧化应激损伤还能起到恢复损伤细胞的作用。Xuekang Yang^[11]研究 LBP 对肠缺血再灌注损伤的影响,通过建立几种氧化模型评估 LBP 对肠缺血再灌注损伤起到了一定的减缓作用。结果显示,LBP 在不同氧化模型中能表现出不同程度的抗氧化水平,提高抗氧化酶活性,并且能够抑制和减少机体不同器官和细胞的氧化损伤水平。

虽然 LBP 抗氧化活性被大多数研究已证实,但其在体内抗氧化活性的发挥途径及代谢途径问题却依旧难以解释。Mang Ke^[12]研究发现,LBP 能预防体内外氧化应激造成的损伤。对多种植物多糖进行体外抗氧化清除自由基的试验中,当自由基清除率达 50% 时黄芪多糖与 LBP 的浓度为 12.18 和 3.36^[13],结果表明,同浓度 LBP 比黄芪多糖清除自由基效果更好,具有更强的抗氧化性能,这可能与 LBP 的高级结构有关。随后 Yang Y^[14]等人构建了高脂小鼠的胰岛素抵抗模型,试验证实 LBP 通过激活 Nrf2 介导的细胞保护作用,能够显著逆转糖酵解和糖原异常基因表达,并且 LBP 是通过激活 PI3K/AKT/Nrf2 途径抵抗高脂肪饮食诱导的细胞氧化。近几年对抗氧化机制的研究较多,但 LBP 在体内发生抗氧化反应时的相关基因表达及通路的研究却较少,其在体内抗氧化功能的作用机理还有待进一步研究。

3 增强机体抗病毒功能

病毒性疾病每年对畜禽养殖业都会带来严重的损失,也是危害和限制养殖业发展的主要原因之一。随着病毒性疾病的大量爆发,抗生素在畜牧业中的大量使用显现出了众多弊端,抗性基因传播、耐药菌的产生、土壤和水体污染等都对人类生命安全造成了巨大威胁。近年来越来越多的研究成果表明中药提取物中含有抗病毒成分,具有抑制病毒的作用,同时与抗生素相比中药提取物更加绿色安全。郝静^[15]发现,多糖主要通过抑制病毒对 Vero 细胞的吸附和降低单纯疱疹病毒(HSV-1) UL30、US6 基因 mRNA 表达水平,抑制 Vero 细胞感染 HSV-1 病毒。多糖为多糖混合物大分子,能够有

效包裹病毒阻止其进入细胞,从而降低病毒基因 mRNA 表达水平。邹沐平^[16]研究发现,多糖能够有效抑制流感病毒 H1N1、H3N2、H5N3、柯萨奇病毒(CVB3)和呼吸道合胞病毒 RSV-long,在细胞外能够直接杀灭病毒,但是杀伤细胞的方式及机制却不清楚。生物大分子结构多糖在细胞外具有吸附包裹小分子病毒的作用,但有的多糖可直接杀灭于病毒、抑制病毒复制和转录。

大多数多糖都具有抗病毒活性,然而只有少数多糖被用做抗病毒药物,Liu Y^[17]研究了三种植物多糖对 PRRSV 病毒的抗病毒活性,虽然三种多糖对细胞的保护率都能达到 100%,但抗病毒能力却不尽相同,这可能与不同植物多糖的成分组成和结构有关。Ma L L^[18]等人对十种中成药抗流感病毒活性进行了评价,其对甲型 H1N1 和 H3N2 病毒都有显著的抑制作用,并发现其对耐药菌株也能表现出抗病毒活性。这说明了中药不但能抑制病毒,还能对机体因长时间使用抗生素所产生的耐药菌株起到抑制作用,有的中药可以通过激活某些通路及核转录因子提高抗病毒干扰素等物质的产生,这为新型抗病毒药物的研发提供了新的思路。

王君敏^[19]分别对四种不同硫酸化程度的当归多糖和 LBP 进行抗病毒研究,发现硫酸化修饰能够显著增强 LBP 对鸡新城疫病毒的抗病毒活性,并且硫酸化修饰程度与抗病毒活性息息相关。结果显示,不同化学结构的 LBP 对病毒都具有抑制作用,且与其化学修饰程度有一定关系,可能修饰成分与 LBP 发挥抗病毒活性有关。Bo R^[20]研究发现 LBP 能够加强猪圆环病毒(PVC2)疫苗的作用,并且发现 LBP 达一定的浓度后具有细胞毒性,这可能与 LBP 的抗病毒活性成分有关。LBP 发挥抗病毒作用主要通过两种途径,一是作为免疫增强剂,二是作为抗病毒药物。Wang J^[21]等人通过试验发现 LBP 能够有效抑制新城疫病毒(NDV)对鸡胚成纤维细胞的感染,并且经过硫酸化修饰的 LBP 能够表现出显著的病毒抑制率。LBP 作为中药糖-蛋白聚合物,未修饰化的 LBP 具有增强疫苗效果的作用,但抗病毒能力效果不如修饰化的 LBP。进行硒化、

硫酸酯化等修饰的 LBP 能表现出更加显著的抗病毒作用,可作为抗病毒药物抑制病毒活性。随后易方^[22]研究了枸杞、黄芪、党参、大蒜多糖等 8 种中药多糖对猪繁殖与呼吸综合征病毒的抗感染能力,同时考虑到单一多糖的局限性,使用不同配伍复方进行研究,发现含有 LBP 的复方具有良好的抗猪繁殖与呼吸综合征病毒能力。LBP 的多糖组成及构象可能是其发挥抗病毒效果的主要原因,并且与其配伍的复方多糖都提高了抗病毒效果,这将为未来在畜牧业中的使用提供新的方向。脾脏和胸腺是产生巨噬细胞和淋巴细胞的主要器官^[23],巨噬细胞和 T 细胞是 LBP 在体内发挥抗病毒活性的前提基础。当巨噬细胞和 T 细胞受到刺激会诱导机体产生白细胞介素、干扰素等物质^[24],LBP 可能就是通过该途径达到抗病毒作用的。

4 提高机体免疫功能

4.1 对免疫器官的影响 免疫器官的发育对机体的免疫能力具有重要意义,免疫器官发育不完全导致动物易感疾病,而疾病爆发严重制约着畜牧业的发展。机体免疫器官主要分为中枢免疫器官和外周免疫器官,中枢免疫器官包括骨髓和胸腺,外周免疫器官淋巴结、脾和黏膜有关淋巴组织和皮下组织。LBP 对老化模型动物的胸腺指数和脾脏指数均具有显著提高的作用,还能够有效改善和保护动物的免疫器官,提高机体免疫能力^[25]。其对氧化情况严重的个体能表现出较高的抗氧化性能,通过改善动物免疫器官损伤情况,达到提高机体特异性免疫和非特异性免疫的作用。Zhao R^[26]研究发现 LBP 改善亚健康小鼠免疫功能主要是通过增强小鼠抗氧化能力、减轻疲劳、增加 T 淋巴细胞增殖和抑制 T 淋巴细胞凋亡三个方面进行免疫调节的,对胸腺等免疫器官进行保护。对于衰老严重的小鼠来说,枸杞多糖能有效的保护免疫器官,减少氧化自由基对免疫器官的损伤情况,尤其对胸腺指数的影响较为明显。结果显示,LBP 对免疫器官指数的影响明显,并且对氧化系统失衡衰老小鼠的胸腺及脾脏指数具有改善作用。LBP 对免疫器官的影响主要为保护其不受内外界因素的损害,其中对损伤

细胞的保护作用尤为显著,许多研究表明多糖可以作为一种免疫促进剂,同时还发现一定浓度的多糖能够提高动物免疫器官指数^[27]。LBP 对机体免疫器官指数的影响具有正向促进作用,并在大多数研究中都得到了证实。免疫器官的发育可能与 LBP 的浓度具有相关性,适宜的浓度可以促进免疫器官的发育,但其促进免疫器官发育的机理还不清楚。

4.2 对免疫细胞及细胞因子的影响 免疫细胞是机体发挥免疫功能的重要组成部分,参与免疫的细胞有巨噬细胞、粒细胞和肥大细胞等,还有能识别抗原、产生特异性免疫应答的各种淋巴细胞,而细胞因子是由免疫细胞及某些不具有特异性免疫的细胞分泌的一类具有广泛生物活性的小分子蛋白质^[28]。免疫细胞的数量及免疫因子的含量都能影响机体免疫功能的强弱,许多学者把免疫细胞及免疫因子作为衡量机体免疫功能的指标,在免疫功能方面的研究中意义重大。免疫因子能在机体发生特异性免疫的过程中增强免疫细胞能力、提高机体特异性免疫、增强淋巴细胞分化等,对机体正常发挥免疫能力有重要意义。近年来有研究表明,LBP 能够改善缺氧状态下机体的免疫功能,降低 IL-6 增加 IL-2 及 IgG 的含量^[29]。免疫球蛋白和白介素对机体免疫系统具有重大意义,免疫细胞和免疫因子在机体免疫过程中相互作用,免疫细胞的激活在机体免疫过程中能促进免疫因子的分泌,同时增强免疫细胞的功能。有研究发现 LBP 能够诱导脾细胞增殖,并显著增加巨噬细胞吞噬作用及诱导其产生 TNF- α 、IL-1 β 和 NO^[30]。大量研究结果表明,LBP 能影响机体的免疫系统,可能是通过增强免疫细胞识别抗原的能力而达到提高机体特异性免疫应答,并且对脾细胞增殖作用明显,对白介素和肿瘤坏死因子的影响较大。

5 展 望

随着中国畜牧业的蓬勃发展与不断创新,抗生素在畜牧业生产中的大量使用给食品安全及环境安全带来了巨大威胁。耐药菌问题已经被世界卫生组织多次提出,未来抗生素作为兽用医药将被管控得更为严格,这将成为畜牧业未来发展较大的障

碍。LBP 具有天然抗病毒、抗氧化和提高机体免疫作用的生物活性,并且能在体内有效发挥其活性。这为 LBP 有关的抗病毒、抗氧化、增强免疫、预防疾病等药物的研发提供依据,缓解并彻底摆脱畜牧业抗生素过量使用造成的病毒抗药性、环境污染以及食品安全日益严峻等问题,将成为解决畜牧业生产中抗生素过量使用的有效途径。LBP 因其某些优良的生物学特性与抗生素具有相同的抗氧化、抗病毒和增强免疫力等作用,使其在未来将有可能成为可能替代抗生素的一种新型中药提取物,这对新型兽药研发具有重要意义。LBP 因其产地较为广泛,品相等级不高的枸杞药效不受影响,但价格较为低廉,这为 LBP 成为抗生素替代品及其商品化提供有利条件。

参考文献:

- [1] Jin M, Huang Q, Zhao K, *et al.* Biological activities and potential health benefit effects of polysaccharides isolated from *Lycium barbarum* L [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2013, 54(1): 16–23.
- [2] 唐华丽. LBP 的结构分析及代谢组学研究 [D]. 南京: 东南大学, 2016.
Tang L H. Structural Analysis and Metabolomics Study of LBP [D]. Nanjing: Southeast University, 2016
- [3] 杜津昊. 枸杞活性物质提取及其生物活性研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2017.
Du J H. Study on extraction and biological activity of earthworm active material [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2017.
- [4] 邱树磊. 硒化大蒜多糖和硒化枸杞多糖的增强免疫和抗氧化活性研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
Qiu S L. Study on the Enhancing Immunity and Antioxidant Activity of Selenised Garlic Polysaccharide and Selenium Sulfate Polysaccharide [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [5] Talarico L B, Pujol C A, Zibetti R G, *et al.* The antiviral activity of sulfated polysaccharides against dengue virus is dependent on virus serotype and host cell. [J]. *Antiviral Res*, 2005, 66(2–3): 103–110.
- [6] 朱彩平. 枸杞多糖的结构分析及生物活性评价 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
Zhu C P. Structure analysis and biological activity evaluation of *Lycium barbarum* polysaccharide [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006.
- [7] 郝苗, 金黎明, 刘李娜, 等. 硒化 LBP 的制备及其抗氧化性研究 [J]. *食品研究与开发*. 2014, 06(29): 11–13.
Hao M, Jin L M, Liu L N, *et al.* Preparation of Selenized LBP and Its Antioxidant Activity [J]. *Food Research and Development*. 2014, 06(29): 11–13.
- [8] Li X M, Ma Y L, Liu X J. Effect of the *Lycium barbarum*, polysaccharides on age-related oxidative stress in aged mice [J]. *Journal of Ethnopharmacology*. 2007, 111(3): 504–511.
- [9] Qiu S, Chen J, Chen X, *et al.* Optimization of selenylation conditions for *lycium barbarum* polysaccharide based on antioxidant activity [J]. *Carbohydrate Polymers*. 2014, 103(1): 148–153.
- [10] Guo H, Wu B, Cui H, *et al.* NiCl–Down–Regulated Antioxidant Enzyme mRNA Expression Causes Oxidative Damage in the Broilers Kidney [J]. *Biological Trace Element Research*. 2014, 162(1): 288–295.
- [11] Yang X, Bai H, Cai W, *et al.* *Lycium barbarum* polysaccharides reduce intestinal ischemia/reperfusion injuries in rats [J]. *Chemico-biological interactions*. 2013, 204(3): 166–172.
- [12] Ke M, Zhang X J, Han Z H, *et al.* Extraction, purification of *Lycium barbarum*, polysaccharides and bioactivity of purified fraction [J]. *Carbohydrate Polymers*. 2011, 86(1): 136–141.
- [13] 许兰仙. 提取方法对枸杞多糖含量及抗氧化能力影响 [D]. 银川: 北方民族大学, 2017.
XU X L. Effects of extraction methods on polysaccharide content and antioxidant capacity of *Lycium barbarum* [D]. Yinchuan: Northern University for Nationalities, 2017.
- [14] Yang Y, Wang L, Li Y, *et al.* Dietary *Lycium barbarum* Polysaccharide Induces Nrf2/ARE Pathway and Ameliorates Insulin Resistance Induced by High–Fat via Activation of PI3K/AKT Signaling [J]. *Oxidative Medicine & Cellular Longevity*. 2014, 1: 1–10.
- [15] 郝静. 裙带菜茎硫酸多糖抗病毒活性及其作用机理的初步研究 [D]. 广州: 暨南大学, 2008.
Hao J. Preliminary study on the antiviral activity and mechanism of sulphate polysaccharides from the stalk of Wakame [D]. Guangzhou: Jinan University, 2008.
- [16] 邹沐平, 董栋, 王怀玲, 等. 琼枝麒麟菜多糖抗呼吸道病毒活性研究 [J]. *海洋科学*, 2015, 39(12): 15–20.
Zhou M P, Dong D, Wang H Y, *et al.* Study on anti-respiratory viral activity of *eucheuma* polysaccharides in jujube [J]. *Marine Sciences*, 2015, 39(12): 15–20.

- [17] Liu Y, Ding D W, Gao Q W, *et al.* Antiviral Effects of Three Chinese Herbal Medicine and Their Polysaccharides on Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus (PRRSV) in vitro [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*. 2016, 43 (10): 2730-2735.
- [18] Ma L L, Ge M, Wang H Q, *et al.* Antiviral Activities of Several Oral Traditional Chinese Medicines against Influenza Viruses. [J]. *Evidence-based complementary and alternative medicine*. 2015 (5): 1-9.
- [19] 王君敏, 胡元亮, 张帆, 等. 8 种硫酸化多糖对新城疫病毒感染鸡胚成纤维细胞能力的影响 [J]. *南京农业大学学报*, 2011, (1): 118-122.
Wang M J, Hu Y L, Zhang F, *et al.* Effect of eight sulfated polysaccharides on the ability of Newcastle disease virus to infect chicken embryo fibroblasts [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2011, (1): 118-122.
- [20] Bo R, Zheng S, Xing J, *et al.* The immunological activity of Lycium barbarum polysaccharides liposome in vitro and adjuvant activity against PCV2 in vivo [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016, 85: 294.
- [21] Wang J, Hu Y, Wang D, *et al.* Lycium barbarum polysaccharide inhibits the infectivity of Newcastle disease virus to chicken embryo fibroblast [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2010, 46(2): 212-6.
- [22] 易方, 刘家国, 王德云, 等. 抗猪繁殖与呼吸综合征病毒中药多糖复方的体外筛选 [D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [23] 安云庆, 滕树华. 医学免疫学 [J]. *中华护理杂志*, 1989(03): 167-176.
An Y Q, Teng S H. Medical immunology [J]. *Chinese Journal of Nursing*, 1989(03): 167-176.
- [24] 王晶, 张春丹, 杨利敏, 等. 阿魏侧耳胞外多糖对小鼠巨噬细胞的激活作用 [J]. *食品工业科技*, 2016, 37(10): 356-359.
WANG J, ZHANG C D, YANG L M, *et al.* Activation of Macrophage in Mouse *Pleurotus ostreatus* Exopolysaccharides [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(10): 356-359.
- [25] Tang T, He B. Treatment of d-galactose induced mouse aging with lycium barbarum polysaccharides and its mechanism study. [J]. *African Journal of Traditional Complementary & Alternative Medicines*. 2013, 10(4): 12-17.
- [26] Zhao R, Hao W, Ma B, *et al.* Improvement effect of Lycium barbarum polysaccharide on sub-health mice [J]. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*. 2015, 18(12): 1245.
- [27] Hao W L, Chen Z B, Zhao R, *et al.* Effect of Lycium barbarum polysaccharide on immune function and anti-fatigue of sub-healthy mice [J]. *Chinese Journal of Biologicals*. 2015, 28(7): 693-697.
- [28] 刘承波, 杨德红, 闫雪兰, 等. 肿瘤坏死因子- α 与不孕症关系的研究进展 [J]. *中国生物制品学杂志*, 2017, (7): 781-784.
Liu C P, Yang D H, Yan X L, *et al.* Research progress on the relationship between tumor necrosis factor- α and infertility [J]. *Chinese Journal of Biologicals*, 2017, (7): 781-784.
- [29] 关文霞, 全雪霞, 任飞, 等. 慢性低氧及枸杞多糖干预对大鼠生理指标和血浆 IL-2、IL-6 及 IgG 含量的影响 [J]. *宁夏医科大学学报*. 2015, (4): 367-370.
Guan W X, Quan X X, Ren F, *et al.* Effects of Chronic Hypoxia and Lycium Barbarum Polysaccharides Intervention on Physiological Indexes and Plasma IL-2, IL-6 and IgG Contents in Rats [J]. *Journal of Ningxia Medical University*. 2015, (4): 367-370.
- [30] Zhang X, Li Y, Cheng J, *et al.* Immune activities comparison of polysaccharide and polysaccharide-protein complex from Lycium barbarum, L [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2014, 65(5): 441-445.

(编辑: 陈希)